AUS DER ZAHNKLINIK DER UNIVERSITÄT BONN
(DIREKTOR: PROF. DR. A. KANTOROWICZ)

ÜBER DIE HEILUNGSVORGÄNGE NACH WURZELSPITZENRESEKTION

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER ZAHNÄRZTLICHEN DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

RHEINISCHEN FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT

ZU BONN

VORGELEGT

AM 16. FEBRUAR 1929

VON

ELI SCHACHTEL
ZAHNARZT IN NÜRNBERG

VERLAGSBUCHHANDLUNG JULIUS SPRINGER IN BERLIN. 1929

Gedruckt mit Genehmigung der Hohen Medizinischen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

Referent: Professor Dr. Kantorowicz

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Sonderdruck aus der „Deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde". 1929. 12. Heft
(Verlag von Julius Springer in Berlin W 9)

Noch bevor *Bauer* (1922) und *Euler* (1923) ihre Befunde über die Histologie der Heilungsvorgänge, die sie jeder an seinen durch tierexperimentelle Wurzelspitzenamputation (W.-A.) gewonnenen Präparaten erheben konnten, veröffentlichten, erschien die „Histologische Untersuchung einer geheilten Zahnfraktur" von *Gottlieb*. Diese Arbeit beschäftigt sich mit all den Fragen, die sich um die Einheilung von solchen Partien des Zahnes gruppieren, die vorher in keinem biologischen Zusammenhang mit dem lebenden Gewebe der Zahnumgebung gestanden haben. Das histologische Bild eines Zufallsbefundes an einem menschlichen Zahn weist, wie auch *Gottlieb* voraussagt, die gleichen Verhältnisse auf, wie sie *Bauer* und *Euler* bald darauf in ihren experimentell gewonnenen Präparaten vorfanden. Da *Gottlieb* in seiner Untersuchung den ganzen hier in Betracht kommenden Fragenkomplex ebenso gründlich wie anschaulich aufrollt, soll diese in ihren Grundzügen hier zuerst herangezogen werden.

Der Befund einer Knochenzementanlagerung an den Innenwänden des Wurzelkanals liegt vor; sie als Produkt metaplastischen Pulpengewebes zu deuten, wird in ausführlicher, durch Abbildungen veranschaulichter Begründung von *Gottlieb* abgelehnt. Im Verlaufe dieses Gedankenganges gewinnt er die Anschauung, „daß die von der Odontoplastenschicht entblößte Pulpakanalwand sich biologisch ebenso verhält wie die äußere Oberfläche der Wurzel, nämlich als eine ins Bindegewebe implantierte Elfenbeinfläche, die mit oder ohne vorhergehende Resorption der Oberfläche in der Weise einheilt, daß sich Knochen an das Plantat anlagert". Später bezeichnet *Gottlieb* die W.-A. als eine „partielle Implantation"; er vermutet, daß die Amputationsflächen sich ebenso verhalten wie die Fragmentflächen des vorliegenden Falles. Er faßt seinen Befund in folgenden Worten zusammen: „Es lagert sich mit oder ohne vorhergehende Resorption Knochenzement an mit oder ohne Verwachsung mit dem umliegenden Knochen, oder die Dentinschnittfläche wird vom Bindegewebe einfach toleriert, ohne daß dieses irgendwelche nennenswerte Konsequenzen aus dieser Nachbarschaft zieht." Dasselbe gilt auch für die im Gewebe verstreut liegenden Dentinsplitter, die durch eine Osteoidschicht zu einer Verwachsung miteinander kommen können.

Nachdem *Gottlieb* die Tatsache berücksichtigt hat, daß zementbildendes Bindegewebe, von Periost oder Knochenmark stammend, immer den günstigsten Boden für Einheilung eines kalkhaltigen Plantates abgibt, eine Metaplasie von Pulpengewebe, submukösem Bindegewebe oder Lungenbindegewebe (Verkalkung von Tuberkeln) immer nur eine Ausnahme darstellt, meint er, verlangt doch folgende Beobachtung eine Erklärung: Dentinsplitter z. B. heilen auf ganz verschiedene Weise ein: Hier nämlich tritt zuerst Resorption, dann erst Apposition ein, dort unmittelbare Knochenanlagerung, woanders wieder nur stärkere bindegewebige Umkleidung des Plantates. Man sieht, daß die Orte dieser verschiedenen Reaktionen oft nur mikroskopisch kleine Strecken weit auseinanderliegen, kann eine Verschiedenheit in der Qualität des Bindegewebes diese Erscheinung noch zur Genüge erklären? Sicher nicht! *Gottlieb* schließt also, — und gibt damit eine ganz andere und viel weiter reichende Erklärung, als sie *Bauer* (s. unten) auf diese Frage gibt —, daß es äußerst feine Qualitätsunterschiede des Plantates selbst sein müssen, die sein Schicksal bestimmen: „Ich glaube, daß uns hier

kaum was anderes übrigbleibt, als anzunehmen, daß das Absterben, also der Grad der Vitalität der betreffenden Partien die Veranlassung für ihren Abbau gibt, wobei sowohl der Zustand der organischen Grundsubstanz als auch der Grad der Verkalkung maßgebend sein können. Akzeptieren wir diese Annahme, so müssen wir weiter folgern, daß die Resorption soweit geht, als die abgestorbenen, nicht plantationsfähigen Partien sich erstrecken, um an ihren Grenzen aufzuhören . . . Es scheint, daß bei einem ins Bindegewebe implantierten Knochen- oder Dentinstück erst diejenigen Partien, die wie Fremdkörper wirken, durch lacunäre Resorption eliminiert werden, bis nur der plantationsfähige Rest zurückbleibt. Dieser verhält sich entweder indifferent und das Bindegewebe bleibt ohne Reaktion seiner Oberfläche angelagert oder löst einen adäquaten Reiz im umliegenden Bindegewebe aus, der zur Ablagerung von Knochenzement führt. Es erinnert dies an den Vorgang bei der Restaurierung alter Bauten. Auch hier werden zuerst die morschen Steine herausgemeißelt und dann durch neue Bausteine ersetzt."

Damit streift *Gottlieb* das Problem der Ätiologie der Resorptionen an retinierten und implantierten Zähnen, auf das einzugehen vom vorliegenden Thema ablenken würde. *Gottlieb* weiß seine Ansicht darüber von vielen Autoren, so auch von *Kantorowicz* mehr oder weniger geteilt.

Die *Gottlieb*sche Fragestellung nach der Plantationsfähigkeit von Bruchflächen wurde auch von *Euler* und *Meyer* in ihrer „Pathohistologie der Zähne" im Kapitel über die „Traumatischen Veränderungen an den Zähnen" aufgenommen. Die auch hier durch mehrere Bilder belegten Befunde decken sich mit denen *Bauers* und *Gottliebs*. Am Schlusse dieses Kapitels erklären die Autoren ihre Stellungnahme zu der unten bei der Besprechung der *Bauer*schen Befunde noch zu streifenden Frage über die Art der Verbundenheit zwischen einer zu implantierenden kalkhaltigen Gewebsfläche und ihrem Plantationszement im Sinne einer sehr innigen histologischen Vereinigung. Nichts destoweniger bemerken die Verfasser in der Abb. 338 ihres Buches selbst wieder die Tatsache der Loslösung eines Knochenzementsaumes von seiner Unterlage.

So glatt wie in dem Falle, den *Gottlieb* beschreibt, verlief die Heilung nur bei einem kleinen Teil der Tierexperimente *Bauers*, *Eulers* sowie der eigenen Versuche. Um daher ein klares Bild über die Heilungsvorgänge zu erhalten, sollen die histologischen Befunde der Fälle, die zu einer primären Heilung gelangten, zuerst zusammengestellt und anschließend dann über den Ausgang derjenigen Versuche berichtet werden, die Störungen im Heilungsverlauf erlitten.

Bauer berichtet über 2 Versuchsreihen (1922 und 1925); von der ersten stammend halten 6 Präparate — Eckzähne von Katzen, deren Wurzelkanäle mit Guttapercha gefüllt wurden — den Heilungsstatus nach 1—6 Monaten fest. 10 Versuche an Hunden und Katzen bilden die Grundlage für die zweite diesbezügliche Arbeit *Bauers*, bei denen er ganz besonders die „Bedeutung funktioneller Auswirkungen" beim Heilungsvorgange berücksichtigte, die er auch in seiner ersten Arbeit schon unterstrichen hatte. Aus den Präparaten der glatt zur Heilung gelangten Versuche ergibt sich folgendes durch Abbildungen vielfach belegtes Bild des Heilungsvorganges: An die durch die Amputation freigelegte Dentinfläche und an das Wurzelzement wird Knochenzement angelagert, meist ohne oder mit nur mäßiger vorangegangener Resorption, in der früheren Wundhöhle

verstreute Dentinsplitter werden ebenfalls von Zement eingeschlossen und untereinander durch eine Osteoidschicht verbunden; so bildet sich nach *Bauer* in kleinen Wundhöhlen primär „eine fixe Brücke zwischen Zahn und Knochenfach". Zu einer dauernden knöchernen Vereinigung zwischen Zahnstumpf und Alveole kommt es jedoch, wie seine Beobachtungen an Präparaten mit längerer Heilungszeit ergaben, nicht. *Bauer* schreibt über den weiteren Fortgang der Heilung: „Die eingewachsenen Dentinsplitter werden resorbiert, die knöcherne Verbindung zwischen Zahnstumpf und Alveole geht verloren, und ein von einer fast gleichmäßig breiten Knochenzementschicht bedeckter Wurzelstumpf bildet den Abschluß des Heilungsprozesses. Dieser Wurzelstumpf ist durch eine Bindegewebsschicht, die sich aller Voraussicht nach langsam zu einem normalen Periodont differenziert, von der Alveole getrennt." Auf Grund seiner Untersuchungen, die *Bauer* an seine zweite Versuchsreihe knüpft, schränkt er den Gang der Differenzierung eines neuen Periodontes zwischen Zahnstumpf und Alveole auf diesem mittelbaren Wege über eine anfänglich sich bildende Ankylose auf „räumlich kleine Wundverhältnisse nach W.-A." ein.

Den Hauptanteil an der Verursachung dieses von ihm beobachteten Heilungsverlaufes schreibt *Bauer* dem funktionellen Reiz zu, der den Zahn und das ihn umgebende Gewebe trifft. Wenn *Bauer* deshalb auf die Frage nach den tieferen Gründen für den wechselnden Umfang von Resorption und Apposition von Hartgewebe antwortet: „Ab- und Anbau sind die Antwort, welche das Periost bzw. Endost unter Einbeziehung des bindegewebigen Markgewebes auf den durch die Operation gesetzten Reiz gibt, und die Qualität dieses Reizes, verbunden mit der des funktionellen Reizes ist bestimmend für den Umfang der Resorption und Apposition", so setzt er sich damit bewußt in Gegensatz zu *Gottliebs* Ansicht, der, wie oben erwähnt, dafür Schwankungen in der Vitalität des Plantates geltend macht.

Die zweite Versuchsreihe *Bauers*, die mit Heilungszeiten von 3 bis 12 Monaten angeordnet war, bringt im wesentlichen eine Bestätigung der Befunde, die an den Präparaten der ersten erhoben werden konnten. Soweit die Heilung störungslos verlaufen war, entspricht das Bild der mit neugebildetem Knochen — wenn auch mit meist noch weiten Markräumen — wieder ausgefüllten Wundhöhle, der mit der Zementbekleidung des Amputationsstumpfes hier und da durch einer normalen Periodontalstruktur entsprechende Bindegewebsfaserzüge in Verbindung steht, den oben zitierten Erwartungen.

Als Folge der veränderten Auswirkung der funktionellen Beanspruchung eines Zahnes ohne Wurzelspitze sieht *Bauer* eine auch an einigen der von ihm gebrachten Abbildungen an den Seiten des Wurzelstumpfes zu beobachtende Zementhypertrophie an. An dieser Stelle sei aber bereits darauf hingewiesen, daß in einigen Präparaten der eigenen Versuchsreihe ganz ähnlich aussehende Hyperzementosen gefunden wurden, von denen aber, wie Vergleiche mit unberührt gebliebenen Zähnen desselben Versuchstieres lehrten, festgestellt werden konnte, daß sie vor der Operation bereits vorlagen. In den Abb. 4 und 5 ist auch der Unterschied zwischen dem tatsächlich in der Beobachtungsperiode gebildetem Zement und dem ursprünglichen Sekundärzement deutlich erkennbar.

Bauer nimmt an Hand seiner Präparate die Diskussion der schon oben gestreiften Frage auf, in der er *W. Meyer* als Gegner hervorhebt. Kommt es

bei der Ablagerung von Knochenzement auf die einzuheilenden Dentinflächen zu einer innigen histologischen Vereinigung zwischen den Geweben (*Meyer*), oder liegt diese Knochenzementschicht dem Dentin nur anatomisch an ? (*Bauer*). Als Beleg für seine Anschauung weist *Bauer* auf seine Schnitte hin, an denen zu beobachten ist, wie der Knochenzementsaum bei der Präparation der Schnitte sich von den nur schwach resorbiert gewesenen Dentinflächen abhob, an anderen Stellen, wo das Knochenzement sich in den Resorptionslacunen mit den stehengebliebenen Dentinzapfen anatomisch verzahnte, es nur aus diesem Grunde nicht zur Spaltbildung kommen konnte. Die eigenen Beobachtungen entsprechen der *Bauer*schen Anschauung.

Bauer faßt das Ergebnis seiner Untersuchungen in folgenden Worten zusammen: „Funktionelle Impulse wecken das Leben der Zelle, geben der Differenzierung die Richtung und arbeiten im weiteren Verlauf des Werdens an Struktur und Form des Organes, das sie — physiologische Verhältnisse vorausgesetzt — in gebrauchsfähigem Zustand zu erhalten trachten. Regenerative Prozesse lassen deutlich die wichtige Rolle funktioneller Einflüsse erkennen. Die Kenntnis dieser Tatsachen, die auch für die den Zahn betreffenden Prozesse volle Geltung haben, muß sich auch in der Therapie der modernen Zahnheilkunde auswirken, sowohl in dem konservierenden als auch in dem prothetischen Teile derselben."

Von den 7 Versuchen, die *Euler* an Hunden durchführte, erfolgte die Heilung nur bei einem per primam. Auch sein Schüler *Grosse* beschreibt diesen Fall. Nach 12 Wochen zeigte das Präparat ein sehr ähnliches histologisches Bild, wie es uns von *Bauers* Versuchen her bekannt ist. Die Operationshöhle war von neugebildetem Knochen ausgefüllt worden, der bis in den — unter Pulpabelassung ungefüllt gebliebenen — Wurzelkanal hineinreicht. Dentinsplitter waren teils unverändert von Bindegewebe umhüllt teils, anfänglich resorbiert, dann von Zement umgeben im Knochen eingeschlossen worden. Die nur wenig anresorbierte Amputationsfläche war ebenfalls von einer dünnen Knochenzementschicht bedeckt, die auch die Innenwände des Wurzelkanals auskleidete. Obwohl erst 12 Wochen nach der Resektion fand *Euler* in diesem Präparat „die Verbindung zwischen diesem Zement und dem Knochen durch straffes Bindegewebe hergestellt, das sich morphologisch kaum von der Wurzelhaut unterscheidet und an den äußeren Rändern ohne erkennbare Grenze in diese übergeht." Alle anderen Versuche *Eulers*, bei denen der Wurzelkanal apikal abgeschlossen wurde, zeigten einen gestörten Heilungsverlauf und werden unten besprochen. Das Ergebnis dieser Experimente, mit dem auch *Grosse* seine Ausführungen abschließt, daß jedes versuchte Füllmaterial den Heilverlauf ungünstig beeinflusse, und daß unter Pulpabelassung das beste Heilergebnis ohne Wurzelabschluß erzielt werde, ist zwar von biologischem, aber doch nur theoretischem Interesse. Denn in praxi am Menschen wird niemals eine W.-A. an einem Zahn mit gesunder Pulpa in Frage kommen. Es sei denn, daß, wie *Grosse* am Schlusse seiner Arbeit ausführt, bei W.-A. eine Nachbarwurzel so geschädigt wird, daß ihre Pulpa frei zu liegen kommt. Tritt keine Infektion dazu, so könnte Ausheilung, wie experimentell beobachtet, erfolgen. Auch Rhinologen sollen nach *Grosse* die Erfahrung machen, daß, wenn bei Operationen am Oberkiefer Wurzelspitzen entfernt werden, die betreffenden Zähne reaktionslos wieder einheilen.

Von den 4 Tierversuchen, die *Schäfer* den *Euler*schen anschließt, ist auch nur einer als gelungen anzusehen, bei dem aber der Prozeß der Knochenregeneration später als bei den bisher besprochenen einsetzte. 12 Wochen nach intraoral — *Euler* hatte seine Eingriffe meist auf extraoralem Wege durchgeführt — vorgenommener W.-A. lag vor dem Wurzelstumpf junges Granulationsgewebe, von strafferem Bindegewebe eingeschlossen; erst in der weiteren Peripherie war von beginnender Knochenneubildung etwas zu sehen.

Eigene Untersuchungen.

Im Sinne der von *Bauer* und *Euler* selbst für wünschenswert erachteten Vermehrung des speziellen Untersuchungsmaterials wurden zu Beginn des Jahres 1928 in der Bonner Universitäts-Zahnklinik auf Anregung von Prof. Dr. *Kantorowicz* an 3 Hunden (Bastarden) insgesamt 10 W.-A. vorgenommen. An einem wurden nur die beiden unteren Eckzähne, an den beiden anderen alle 4 Eckzähne reseziert. An jedem Tier wurden die Eingriffe in 2 Abschnitten vorgenommen, zuerst wurden die Canini der einen, 1 Monat später die der anderen Seite reseziert. Das erste Versuchstier wurde 2, das zweite 4, das dritte 6 Monate nach dem ersten Eingriff getötet; so wurden die Heilungsstadien von 1—6 Monaten von Monat zu Monat fixiert. Je ein Präparat hält den Stand der Heilung nach 1 und 2 Monaten fest, je 2 Präparate den nach 3, 4, 5 und 6 Monaten. Um den Einfluß des Wurzelfüllmaterials auf den Heilungsvorgang zu untersuchen, wurde in 4 Fällen ein Elfenbeinpoint im Wurzelkanal einzementiert, in je 2 Fällen wurden die Kanäle mit Phosphatzement, Guttapercha und Kupferamalgam gefüllt. Um ferner eine Vergleichsmöglichkeit für den Einfluß der Funktion auf den Heilungsvorgang zu haben, wurde an 2 Hunden je 1 resezierter Zahn durch Abschleifen seiner Krone in seiner Funktion stark geschwächt.

Die Operationen selbst wurden sämtlich in Äthernarkose vorgenommen. Im einzelnen wurden die Eingriffe intraoral in derselben Weise wie am Menschen durchgeführt, die Wunden vernäht und die Fäden nach etwa 8 Tagen entfernt. Die äußere Heilung verlief, abgesehen von den in 3 Fällen eingetretenen Fistelbildungen, ohne sichtliche Störung, meist auch ganz ohne postoperative Schwellung. Die Hunde blieben bis zu ihrem Tode vollkommen gesund. Die Art ihrer Ernährung wurde in keiner Weise beeinflußt.

Tabellarische Übersicht über die eigene Versuchsanordnung.

Präp. Bez.	Zahn	Art der Wurzelfüllung	Datum der Resektion	Datum der Entnahme	Heilungszeit
		1. Hund, etwa $^3/_4$ Jahre alt:			
I	$\overline{\lvert C}$	Guttapercha	25. II. 1928	26. III. 1928	1 Monat
II	$\overline{C\rvert}$	Cu-Amalgam	21. I. 1928	26. III. 1928	2 Monate
		2. Hund, etwa $1^1/_2$ Jahre alt:			
III	$\underline{\underline{C\rvert}}$	Elfenbeinst. einzementiert .	25. II. 1928	23. V. 1928	3 Monate
IV	$\overline{C\rvert}$	Cu-Amalgam	25. II. 1928	23. V. 1928	3 Monate
V	$\underline{\lvert C}$	Elfenbeinst. einzementiert .	21. I. 1928	23. V. 1928	4 Monate
VI	$\overline{\lvert C}$	Phosphatzement	21. I. 1928	23. V. 1928	4 Monate
		3. Hund, etwa $1^1/_4$ Jahre alt:			
VII	$\underline{\underline{C\rvert}}$	Elfenbeinst. einzementiert .	11. I. 1928	13. VI. 1928	5 Monate
VIII	$\overline{C\rvert}$	Guttapercha	11. I. 1928	13. VI. 1928	5 Monate
IX	$\underline{\lvert C}$	Elfenbeinst. einzementiert .	12. XII. 1927	13. VI. 1928	6 Monate
X	$\overline{\lvert C}$	Phosphatzement	12. XII. 1927	13. VI. 1928	6 Monate

Anmerkung: In den Versuchen III und VII wurden die resezierten Zähne durch Abschleifen der Krone in ihrer Funktion geschwächt. In I, VI und X stand die Operationshöhle beim Tode der Hunde noch durch einen Fistelgang mit dem vestibulum oris in Verbindung.

Der Tod der Versuchstiere wurde mittels Chloräthyl herbeigeführt. Die Kiefer wurden in 10proz. Formalin fixiert, in anfangs 3proz., später 5proz. Salpetersäure entkalkt, die Präparate in der üblichen Weise entwässert, in Celloidin eingebettet und mit dem Gefriermikrotom geschnitten.

Aus dieser Versuchsreihe kann nur Versuch III als vollkommen gelungen bezeichnet werden. Die Schnitte dieses Präparates zeigen nichts, was auf Abwehrvorgänge des Gewebes gegen infektiöse oder sonstige den Heilungsprozeß aufhaltende Einflüsse gedeutet werden könnte. An diesem Präparat konnte der gleiche Befund erhoben werden wie an einem anderen, das einer vorjährigen Versuchsreihe entstammt. Dieser deckt sich auch im wesentlichen mit den Befunden *Bauers* und *Eulers* an ihren glatt verlaufenen Experimenten. So

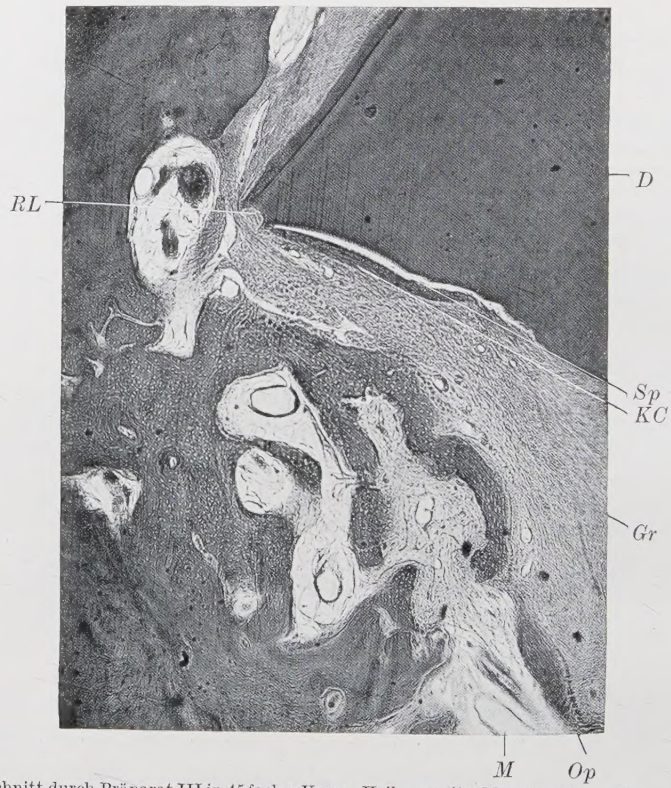

Abb. 1. Längsschnitt durch Präparat III in 45facher Vergr. Heilungszeit 3 Monate. (Wurzelfüllung mit Elfenbeinstift und Phosphatzement.) *D* = Dentin; *RL* = Resorptionslacune mit Knochenzement ausgekleidet, davor ins Periodont übergehende Fasern; *SP* = Spalt zwischen *KC* = Knochenzementauflage und Stumpf; *Gr* = Granulationsgewebe vor der Mitte des Stumpfes; *M* = weite Markräume des jungen Knochens; *Op* = Osteoplastensäume an den Knochenbälkchen.

können wenigstens diese beiden Versuche dazu beitragen, die leider kurze Reihe erfolgreicher tierexperimenteller W.-A. zu verlängern und damit unsere Kenntnis von den Heilungsvorgängen nach W.-A. zu festigen, die, wie es hier auseinandergesetzt wurde, von *Gottlieb* hypothetisch unter dem histologischen Bild einer „partiellen Implantation" vereinigt und in ihren einzelnen Phasen von *Bauer* und *Euler*, soweit ihre Experimente glückten, bestätigt werden konnten.

In Versuch III war im Wurzelkanal zwar ein Elfenbeinstift einzementiert worden, doch ist dort der Wurzelkanal so weit, daß in der Tat ebenso wie in Versuch E ein aus Phosphatzement gebildeter Querschnitt an das sich in der Wundhöhle organisierende Gewebe angrenzt. Präparat E hält den Heilungsstatus nach $3^1/_2$, Präparat III den nach 3 Monaten fest. Hier wie dort ist die frühere Wundhöhle zum größten Teil mit jungen Knochen aus-

gefüllt, dessen Bälkchen noch weiten Markräumen Platz lassen. In der Umgebung des Wurzelkanalausganges liegt der Bezirk, in dem das aber schon gefäßarme Granulationsgewebe von dem von der Peripherie der Operationshöhle her angebauten Knochen noch nicht ersetzt ist. Nach den Kanten des Stumpfes zu werden die Bindegewebsfasern derber und nehmen hier und da die Verbindung zwischen dem Knochen, der hier an den Zahnstumpf schon bis fast auf die normale Entfernung zwischen Zahn und Alveolarknochen herangebaut ist, und dem Knochenzementsaum, der den Amputationsstumpf bedeckt, auf. Man sieht auch Fasern bogenförmig um die Kanten des Stumpfes herumlaufen und fast unmittelbar in das periodontale Bindegewebe übergehen. In III lagern Zementoplasten Knochenzement an der einen Seite des Stumpfes an die Amputationsfläche an, das sich bei der Präparation der Schnitte von dieser wieder abgehoben hat. Die Resektionsfläche selbst ist Resorptionen kaum unterworfen worden; nur an den Seiten der Stümpfe in der Nähe der Kanten sind Howshipsche Lacunen entstanden, deren Wandungen wieder mit einem dünnen Saum Knochenzement ausgekleidet wurden (Abb. 1 und 2). Das Periodontium der Zähne hat in beiden Versuchen seine normale Struktur behalten, obwohl bei III der

Abb. 2. Längsschnitt durch Präparat E in 32facher Vergr. Heilungszeit $3^1/_2$ Monate. (Wurzelfüllung mit Phosphatzement.) Bezeichnung wie oben; *Wz* = Wurzelzement; *K* = junger Knochen reicht hier unter Wahrung eines Abstandes, der etwa normaler Periodontalraumbreite entspricht, bis an den Amputationsstumpf heran.

Zahn durch Abschleifen der Krone in seiner Funktion erheblich geschwächt war. Läßt man trotzdem die (ja schließlich auch bei III nicht ganz ausgeschaltete) Funktion als den bestimmenden Faktor beim Vorgang der Organisation des Granulationsgewebes in der Wundhöhle gelten, so treffen auch für die soeben geschilderten und in den Abb. 1 und 2 veranschaulichten Befunden die *Bauer*schen Darstellungen zu: „Bezüglich der Callusbildung bei größeren Zahnknochendefekten wäre auf Grund der eben beschriebenen Beobachtung anzunehmen, daß bereits die Anlagerung des Callus aus dem vom unverletzten Periost bzw. Endost und bindegewebigen Markgewebe gebildeten Keimgewebe funktionell geregelt wird, und zwar so, daß einerseits durch den funktionell bedingten intermittierenden Druck des Amputationsstumpfes auf das Keimgewebe die Bildung der über denselben sich lagernden Knochenzementspangen angeregt wird, andererseits durch Zugwirkungen das den Hängeapparat darstellende, Sharpeysche Fasern führende Periodont herausdifferenziert und gebildet wird."

Zwar ist die Anzahl dieser hier zusammengestellten Versuche, bei denen der Wiederausgleich des durch die W.-A. gesetzten Defektes geradlinig ohne jede Störung vonstatten ging, gering, doch verlief der Prozeß der Heilung in allen Fällen einheitlich genug, um schon aus diesen wenigen Experimenten die charak-

teristischen Hilfsmittel zu erkennen, die der Organismus bereitstellt, wenn es sich um Einheilung eines steril gebliebenen Zahnwurzelstumpfes und Schaffung einer den künstlich veränderten Verhältnissen angepaßten Alveole handelt:

Während von der Peripherie der Operationshöhle her Knochenneubildung einsetzt, bereitet das periostale, endostale bzw. Markraumbindegewebe den Amputationsstumpf mittels seiner osteoklastischen, resorbierenden Kräfte — um mit Gottliebs Gedanken mitzugehen — zur Implantation vor, bis allenthalben Partien freigelegt sind, deren Vitalität dem bezeichneten Bindegewebe das Einsetzen seiner osteoplastischen, apponierenden Kräfte für die Einheilung des Wurzelstumpfes gestattet. Dieser wird mit einem Knochenzementsaum bedeckt, der dann allmählich durch Bindegewebsfasern, die die Funktion von Sharpeyschen Periodontalfasern übernehmen, die Verbindung mit dem jungen Alveolarknochen erhält.

Mannigfaltig sind die Ursachen für Störungen der Heilungsvorgänge, die die große Zahl der zwar mißglückten, doch für biologisches Geschehen nicht minder aufschlußreichen Experimente erklären. Aus seiner ersten wie aus seiner zweiten Versuchsreihe führt *Bauer* je einen Fall vor, bei dem eine Einheilung des Amputationsstumpfes durch unbeabsichtigte Epithelverpflanzung unmöglich gemacht wurde. In mehreren Fällen seiner zweiten Versuchsreihe bringen Infektionen — auf welche Weise in die Wundhöhle gelangt, bleibt dahingestellt — sogar die Elfenbeinstifte, die zur Wurzelfüllung verwandt wurden, zur Einschmelzung. In 2 Präparaten finden sich große Absceßhöhlen vor. *Bauer* führt diese Versuche zum Beweis heran, „daß unter pathologischen, die regenerativen Vorgänge störenden Verhältnissen die Funktion als pathologischer Reiz wirken kann im Sinne einer Summierung der schädigenden Einwirkungen."

Epitheltransplantation und Cystenbildung fand auch *Euler* bei einem seiner Versuche als Ursache nicht erfolgter Heilung. Dem als Wurzelkanalabschluß verwandten Phosphatzement schreibt er auf Grund zweier Fälle, bei denen er das Granulationsgewebe stark zellig infiltriert antraf, ungünstige Reizwirkung auf dieses zu. Walkhoffsche Jodoformpaste wirkte anfangs ätzend und führte zu Gewebsnekrose, wurde dann aber schnell resorbiert und nach 6 Wochen post operationem war die Organisation des Granulationsgewebes und Knochenneubildung im Gange. Bei einem weiteren Versuch hatte sich ein steriler Absceß unter Amalgamverschluß des Wurzelkanals abgekapselt. *Euler* berichtet auch über dieses Präparat, daß nach 6 Wochen die „Tendenz zur Verkalkung und Knochenneubildung überall zutage" trat. Wie vorsichtig die Schlüsse, die *Euler* aus dem Versuchserfolg auf die Eignung des verwandten Kanalabschlußmaterials zieht, aufgenommen werden müssen, zeigt die Gegenüberstellung, daß bei den beiden eigenen gelungenen Versuchen Phosphatzement das Wurzelfüllmittel war, dem *Euler* den ungünstigsten Einfluß zuschreibt.

Von den 4 Versuchen, über die *Eulers* Schüler *Schäfer* noch berichtete, sind drei durch Infektionen gänzlich fehlgeschlagen.

Von den eigenen Experimenten sind 3 (VI, IX und X) durch Absceßbildungen, die fast die gesamte Wundhöhle miteinbegriffen, unbrauchbar geworden.

In den Präparaten I und II liegen Zähne mit sehr weiten Wurzelkanälen vor, denen am Amputationsstumpf jedesmal ein kleiner flacher Absceß vorgelagert ist, dessen Umgebung in I (1 Monat Heilungszeit) noch stark zellig

infiltriert ist, während er in II (2 Monate Heilungszeit) schon gut gegen die Umgebung abgekapselt ist. In beiden Präparaten wurde das Granulationsgewebe bereits zu deutlichen bindegewebigen Zügen geordnet und hier und da Zonen beginnender Knochenneubildung vorgefunden. In II gelangte ein mit seinen Periodontalfasern zurückgebliebener Dentin-Zementsplitter trotz der Absceßnähe, dessen untere Begrenzung er etwas einkeilte, zur Einheilung; auf der einen Seite wurde ohne vorhergehende Resorption Knochenzement abgelagert, während sich längs der Sharpeyschen Fasern ein schmaler Streifen gefäßreichen, sekundären Bindegewebes hinzieht, das, durch eine Zellreihe vom angrenzenden Alveolarknochen getrennt, die Einheilung des Splitters auf der anderen Seite besorgt. Die Zugrichtung der Periodontalfasern ist bei I gar nicht, bei II zum Teil wesentlich gegen die normale Anordnung verändert.

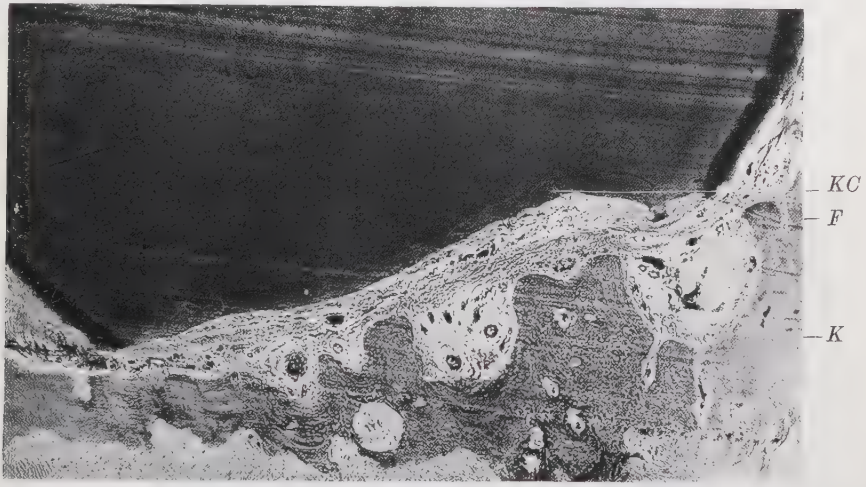

Abb. 3. Längsschnitt durch Präparat V in 45facher Vergr. Heilungszeit 4 Monate. (Wurzelfüllung mit Elfenbeinstift und Phosphatzement.) Der Stumpf ist im peripheren Teil von neuem Knochen (= *K*) völlig eingeschlossen. *KC* = Knochenzement füllt die Resorptionslacunen der Schnittfläche aus; *F* = Faserung im neuen Periodontalraum läuft parallel zur Stumpfbreite.

Im Präparat des Versuches IV (Heilungszeit 3 Monate) fand sich um den Kanalausgang herum durch eine Schicht kernhaltiger Fasern ein Bezirk vom Granulationsgewebe abgeschlossen, der möglicherweise auf einen durch die Kupferamalgamfüllung ausgelösten Absceß, wie ihn auch *Euler* fand, hindeutet. Bei stärkerer Vergrößerung werden in dieser Grenzschicht Amalgamreste sichtbar.

Indessen ist die Wundhöhle zum großen Teil mit Knochen neu ausgefüllt. Der periphere Teil des Stumpfes und seine Umgebung bietet das Bild eines normalen Einheilungsvorganges, wie es etwa in den Abb. 1 und 2 zu sehen ist.

Abb. 3 stellt einen Schnitt durch das Präparat des Versuches V dar, der den Stumpf im peripheren Teil trifft. Nach 4 Monaten Heilung ist er hier von neuem Knochen völlig eingeschlossen. Die Amputationsfläche weist mit Knochenzement wieder ausgefüllte Resorptionslacunen auf. Die mäßige Zelleinstreuung, die sich hier im Periodontalraum findet, wird immer reichlicher, je mehr sich die Schnitte dem Wurzelkanal nähern. Vor dem Kanalausgang findet sich noch

ein größerer Bezirk sehr zellreich infiltrierten Granulationsgewebes, das überdies eine Anzahl Splitter und Hohlräume einschließt, die als Bohrstaubreste aufgefaßt werden können bzw. solche in sich enthalten haben mögen.

Die stärkste zellige Infiltration des Granulationsgewebes fand sich über dem Amputationsstumpf im Präparat VII (5 Monate post operationem). Doch sind die jungen Knochenbälkchen an der Peripherie vielfach mit Osteoplasten, nur

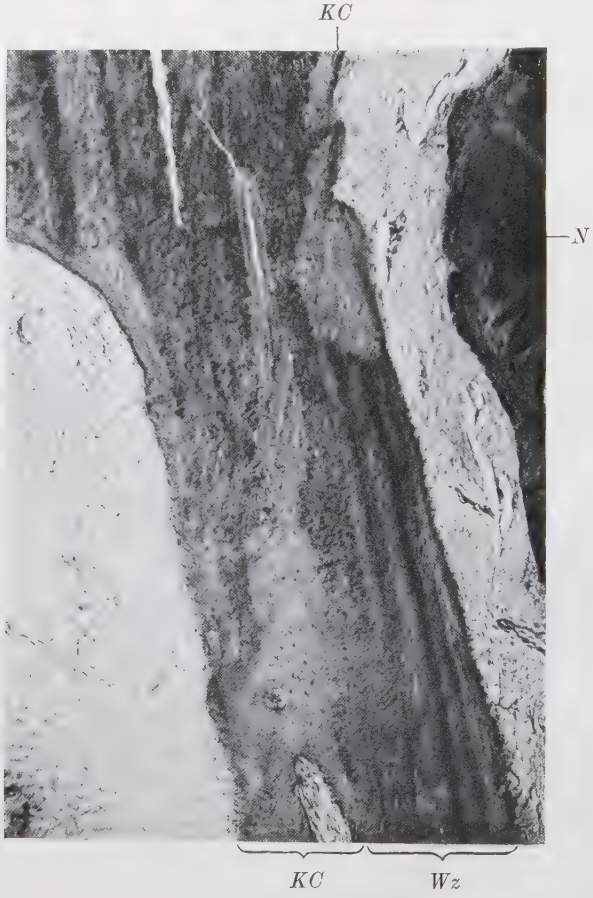

Abb. 4 (aus einem Längsschnitt durch Präparat VIII) zeigt mit Knochenzement wieder ausgefüllte Resorptionsgänge in einem Wurzelzementspan in 105facher Vergr. *KC* = Knochenzement; *Wz* = Wurzelzement; *N* = Apex des Nachbarzahnes.

vereinzelt mit Osteoklasten besetzt. Die Periodontalfaserung läuft hier sehr spitzwinklig bis parallel zum Seitenzement, wohl eine Folge der künstlich verminderten Funktionstüchtigkeit des Zahnes, die allerdings in Versuch III nicht angetroffen wurde. Die Breite des Stumpfes ist hier mit einem meist nur sehr schmalen Knochenzementsaum bedeckt.

Im Präparat VIII liegt der Amputationsstumpf mit seiner Breite und einer Kante in einer flachen Absceßhöhle, die gegen die mäßig infiltrierte Umgebung, die in geringem Abstand schon von Knochen gebildet wird, durch eine epitheloide

Einfassung abgegrenzt ist. An den dem Absceß zugekehrten Seiten finden sich hier und da Osteoklasten; die abgewandten, endostalen Partien des Knochens sind vielfach mit Osteoplasten besetzt. An einem in der Wundhöhle zurückgebliebenen Dentin-Zementspan sind Resorptions- und Appositionsvorgänge sehr gut zu verfolgen (Abb. 4). Hier sind Resorptionsgänge tief in das Wurzelzement vorgedrungen und dann wieder mit osteoidem Gewebe ausgefüllt worden. An

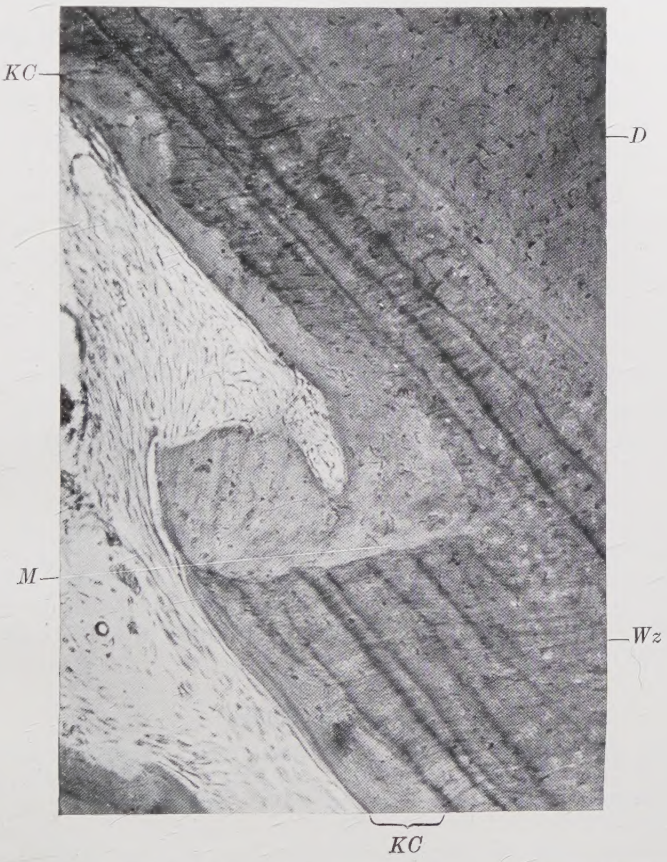

Abb. 5 (aus einem Längsschnitt durch Präparat VIII) zeigt glatte Anlagerung von Knochenzement an eine offenbar durch Meißelschlag entstandene Schnittfläche im Wurzelzement in 145facher Vergr. *KC* = Knochenzement; *Wz* = Wurzelzement; *D* = Dentin; *M* = durch Meißelschlag entstandene Schnittfläche.

anderer Stelle fand an eine offenbar durch Meißelschlag entstandene Schnittfläche eine unmittelbare Anlagerung von Knochenzement statt (Abb. 5). Durch diese Befunde wird eine naheliegende Vermutung, die bei der Betrachtung dieses Präparates sowie der anderen von demselben Versuchstier stammenden Präparate auftaucht, die hier auffallenden starken Wurzelzementbildungen als post operationem gebildet anzusehen, entkräftet (vgl. oben *Bauers* Befund von Hyperzementosen!). Abgesehen davon, daß auch an unberührt gebliebenen Zähnen Wurzelzementbildungen in derselben Stärke gefunden wurden, ist hier sehr deut-

lich der Unterschied zwischen dem normalen Sekundärzement der Wurzel und dem in der Heilungsperiode gebildeten Knochenzement erkenntlich.

Wenn man von den Fällen, in denen versehentlich Epithelgewebsstücke in die Wundhöhle gerieten, absieht, so unterscheiden sich die an zweiter Stelle zusammengestellten Versuchsbefunde von den der oben beschriebenen störungslos verlaufenen Experimente im wesentlichen nur durch das Vorliegen meist kleiner Abscesse, die bald nur den Kanalausgang, bald die ganze Breite des Amputationsstumpfes gegen die Wundhöhle abgrenzen. Außerhalb dieser Abscesse sind die Heilungsvorgänge dieselben wie oben. Nur bei größeren Abscessen wie im Versuch VIII finden sich auch hier und da Zeichen osteoklastischen Abbaues des umgebenden Knochens. Die Ursache für die Entstehung solcher Abscesse kann in keinem Falle mit Sicherheit angegeben werden. Direkte Infektion von außen, infiziertes Füllmaterial oder Reizwirkung, dieses sind wohl die Ursachen, die dafür in Frage kommen. Ein Urteil über einen Einfluß des Füllmaterials kann deswegen auch schwer gefällt werden. Sowohl bei den am besten, wie bei den am schlechtesten ausgelaufenen eigenen Versuchen war Phosphatzement das angewandte Wurzelfüllmittel gewesen.

Das oben zusammenfassend skizzierte Bild von den Heilungsvorgängen nach Wurzelspitzenresektion mag somit als Ergebnis dieser Arbeit gelten. Dabei sei betont, daß die geringe Anzahl bisher gelungener Versuche eine Beantwortung sowohl der Frage, wie weit die Funktion eine richtunggebende Rolle im Heilungsprozeß spielt, wie der Frage, welchen Einfluß die verschiedenen Wurzelfüllmaterialien auf den Heilungsvorgang haben, noch nicht zuläßt.

Am Schlusse dieser Arbeit spreche ich meinen aufrichtigen Dank aus Herrn Prof. Dr. *Kantorowicz* für die Überlassung des Themas sowie für seine Ratschläge für die Durchführung der Arbeit, Herrn Privatdozent Dr. *Schmidhuber* für seine stete Bereitwilligkeit, mit der er mir bei der Vornahme der Operationen sowie der Durchsicht der Präparate behilflich war, und Fräulein *Meissner*, die mir mit ihrer reichen Erfahrung bei der Anfertigung der Schnitte zur Verfügung stand.

Literaturverzeichnis.

Bauer, W., Histologische Befunde an Zähnen nach Wurzelspitzenamputation. Z. Stomat. **1922**, H. 11 — Mikroskopische Befunde an Zähnen und Paradentien nach experimenteller Wurzelspitzenamputation unter besonderer Berücksichtigung der Bedeutung funktioneller Auswirkungen. Z. Stomat. **1925**, H. 2. — *Euler, H.*, Experimentelle Studien über den Heilverlauf nach Wurzelspitzenresektionen und über den Einfluß verschiedener Wurzelfüllungsmaterialien auf den Heilverlauf. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. **1923**, H. 11. — *Euler, H.*, und *W. Meyer*, Pathohistologie der Zähne mit besonderer Berücksichtigung der Pathobiologie. München: Verlag Bergmann 1927. — *Gottlieb, B.*, Histologische Untersuchung einer geheilten Zahnfraktur. Z. Stomat. **1922**, H. 5. — *Grosse, W.*, Über das Verhalten der Zahnpulpa bei Abtragung der Wurzelspitze. Inaug.-Diss. vorgelegt 1922 der med. Fakultät in Göttingen. — *Schäfer, K.*, Erfahrungen mit Wurzelspitzenresektionen am Zahnärztlichen Institut der Universität Göttingen vom 1. VII. 1920 bis 31. XII. 1922. Inaug.-Diss. vorgelegt 1923 der med. Fakultät in Göttingen. — *Schröder*, Replantation und Transplantation. Korresp.bl. Zahnärzte **1911**, H. 4 — Eine neue Knochenplombe. Korresp.bl. Zahnärzte **1914**, H. 1.

Die Dissertationen von *Grosse* und *Schäfer* wurden von Herrn Professor *Euler*, Breslau und Herrn Professor *Rebel*, Göttingen, da sie nicht im Druck erschienen sind, freundlicherweise zur Einsicht zur Verfügung gestellt.

Lebenslauf.

Am 13. Juni 1903 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Hugo Schachtel in Breslau geboren. Ich besuchte dort bis zur Unter-Sekunda das König-Wilhelm-Gymnasium und dann das Johannes-Gymnasium, beides humanistische Gymnasien. An letzterem legte ich im März 1922 die Reifeprüfung ab. Im Sommer-Semester 1922 studierte ich Landwirtschaft an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin. Vom Sommer 1922 bis zum Herbst 1924 widmete ich mich praktischer landwirtschaftlicher Tätigkeit an verschiedenen Orten in Deutschland. Im Winter-Semester 1924/25 studierte ich wieder an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin. Vom Frühjahr 1925 bis zum Herbst desselben Jahres übte ich praktische landwirtschaftliche Tätigkeit in Palästina aus.

Im Herbst 1925 begann ich Zahnheilkunde zu studieren. Während meiner 3 vorklinischen Semester war ich an der Universität in Breslau immatrikuliert. Ich bestand mein zahnärztliches Vorexamen am 23. Mai 1927 in Bonn. Während meiner klinischen Semester war ich an der Universität in Bonn immatrikuliert. Am 28. November 1928 bestand ich dort mein zahnärztliches Staatsexamen. Im Winter-Semester 1928/29 studierte ich noch ein weiteres Halbjahr Zahnheilkunde an der Universität in Bonn.